

# OPTICAL AMPLIFIER IN OPTICAL COMMUNICATION DEVICE

Publication number: JP11121849

Publication date: 1999-04-30

Inventor: OOSHIMA CHIHIRO; KINOSHITA SUSUMU; CHIKAMA TERUMI

Applicant: FUJITSU LTD

Classification:

- international: H01S3/10; H01S3/06; H01S3/067; H01S3/094; H04B10/04; H04B10/06; H04B10/14; H01S3/10; H01S3/06; H01S3/094; H04B10/04; H04B10/06; H04B10/14; (IPC1-7): H01S3/10; H04B10/04; H04B10/06; H04B10/14

- European: H01S3/067B; H01S3/094A

Application number: JP19970285905 19971017

Priority number(s): JP19970285905 19971017

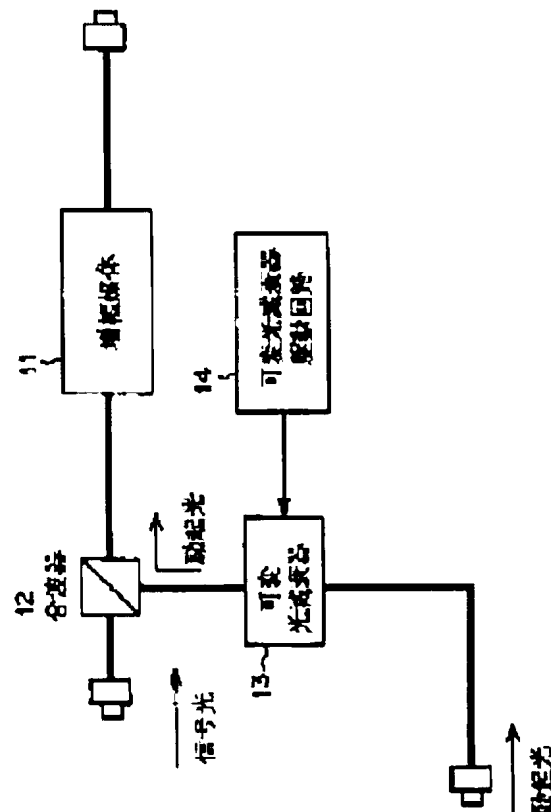
Also published as:

EP0910140 (A2)  
US6320694 (B1)  
EP0910140 (A3)  
CN1181626C (C)

Report a data error here

## Abstract of JP11121849

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To provide an optical amplifier, which has a function to change the feed rate of excitation light to an amplification medium, is small-sized and is hardly exerted the effect due to the generation of heat from an excitation light source. **SOLUTION:** An output level of excitation light which is fed from an excitation light source is changed using a tunable optical attenuator 13. The attenuator 13 is controlled by a tunable optical attenuator drive circuit 14. By arranging separately a part comprising the excitation light source from a part comprising an amplification medium 11, it can be prevented that the effect of heat generated from the excitation light source exerts an adverse effect on the medium 11. Moreover, the part comprising the excitation light source is constituted as a separate member. By constituting the excitation light source so that the light source can be made an additional connection according to the need, an optical amplifier can correspond easily to an optical transmission system at the time of the upgrade of the system. By forming a part comprising a plurality of the amplification mediums 11 into a package, the light amplifier can be miniaturized.



Data supplied from the esp@cenet database - Worldwide

(19) 日本国特許庁 (J P)

## (12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平11-121849

(43) 公開日 平成11年(1999) 4月30日

(51) Int.Cl.<sup>6</sup>

識別記号

F I

H 0 1 S 3/10

H 0 1 S 3/10

Z

H 0 4 B 10/14

H 0 4 B 9/00

S

10/06

10/04

審査請求 未請求 請求項の数21 O L (全 20 頁)

(21) 出願番号

特願平9-285905

(22) 出願日

平成9年(1997)10月17日

(71) 出願人 000005223

富士通株式会社

神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番  
1号

(72) 発明者 大嶋 千裕

神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番  
1号 富士通株式会社内

(72) 発明者 木下 進

神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番  
1号 富士通株式会社内

(72) 発明者 近間 輝美

神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番  
1号 富士通株式会社内

(74) 代理人 弁理士 大菅 義之 (外1名)

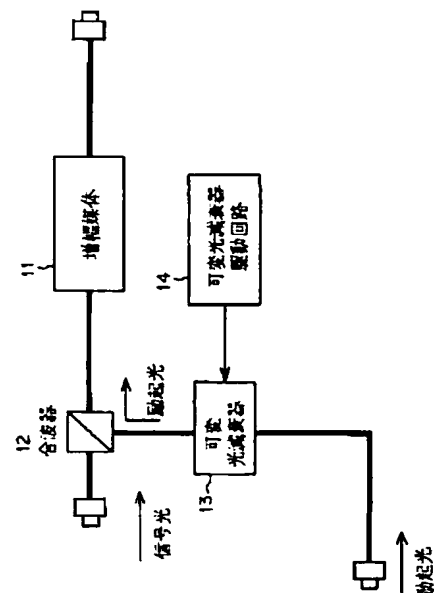
(54) 【発明の名称】 光通信装置における光増幅器

(57) 【要約】

【課題】 増幅媒体への励起光の供給量を変化させる機能を有し、小型で、励起光源の発熱による影響が少ない光増幅器を提供する。

【解決手段】 励起光源から供給される励起光の出力レベルを可変光減衰器13を用いて変化させる。可変光減衰器13は、可変光減衰器駆動回路14によって制御される。また、増幅媒体11を含む部分から励起光源を含む部分を分離して配置することにより、励起光源から発せられる熱の影響が増幅媒体11に悪影響を与えることを防ぐことが出来る。更に、励起光源を含む部分を別体として構成し、励起光源を必要に応じて追加接続可能のように構成することにより、光伝送システムのアップグレード時に容易に対応することが出来る。複数の増幅媒体11を含む部分をパッケージ化することにより、光増幅器を小型化することができる。

本発明の原理説明図



## 【特許請求の範囲】

【請求項 1】 励起光を入力して信号光を増幅する光増幅器において、入射される励起光の出力レベルの減衰量を変化させることによって、該光増幅器の増幅特性を調整する可変光減衰器を備えることを特徴とする光増幅器。

【請求項 2】 前記励起光が、複数の励起光源から発生した励起光を合波する合波手段から供給されることを特徴とする請求項 1 に記載の光増幅器。

【請求項 3】 前記励起光が 1 つの励起光源から発生した励起光を複数の分波する分波手段から供給されることを特徴とする請求項 1 に記載の光増幅器。

【請求項 4】 前記励起光が複数の励起光源から発生した励起光を合波し、更に複数の分波する合分波手段から供給されることを特徴とする請求項 1 に記載の光増幅器。

【請求項 5】 前記複数の励起光源と前記合波手段とが 1 つのユニットとして構成され、別の励起光源または別の該ユニットからの励起光を前記合波手段に追加接続できることを特徴とする請求項 2 に記載の光増幅器。

【請求項 6】 前記複数の励起光源と前記合分波手段とが 1 つのユニットとして構成され、別の励起光源または別の該ユニットからの励起光を前記合分波手段に追加接続できることを特徴とする請求項 4 に記載の光増幅器。

【請求項 7】 前記複数の励起光源と、前記合波手段と、前記可変光減衰器とが 1 つのユニットとして構成されていることを特徴とする請求項 2 に記載の光増幅器。

【請求項 8】 前記 1 つの励起光源と、前記分波手段と、前記可変光減衰器とが 1 つのユニットとして構成されていることを特徴とする請求項 3 に記載の光増幅器。

【請求項 9】 前記複数の励起光源と、前記合分波手段と、前記可変光減衰器とが 1 つのユニットとして構成されていることを特徴とする請求項 4 に記載の光増幅器。

【請求項 10】 前記合波手段に、別の励起光源又は別の該ユニットからの励起光を追加接続できることを特徴とする請求項 7 に記載の光増幅器。

【請求項 11】 前記合分波手段に、別の励起光源又は別の前記ユニットからの励起光を追加接続できることを特徴とする請求項 9 に記載の光増幅器。

【請求項 12】 1 つの励起光源から発生した励起光を複数の分波する分波手段、あるいは、複数の励起光源からの励起光を合波し、複数の分波する合分波手段から供給される励起光を入力して信号光を増幅する増幅媒体を備える光増幅部を複数台内蔵することを特徴とするパッケージ。

【請求項 13】 励起光を発生する少なくとも 1 つの励起光源と、励起光源から発生した励起光を分波あるいは合波する手段とを備えた励起光源ユニットと、該励起光源ユニットから供給される励起光を入力して信号光を増幅する光増幅部とからなる光増幅器を備える光通信装置において、

前記励起光源ユニットが光通信装置内で放熱条件のよい

位置に配置されていることを特徴とする光通信装置。

【請求項 14】 励起光を発生する励起光源と、複数の励起光を合波する合波手段とを備えた励起光源ユニットから供給される励起光を入力して信号光を増幅する光増幅器において、

前記励起光源ユニットは、

前記合波手段によって合波された励起光の偏光面を第 1 の回転角だけ回転させて送出し、前記励起光源ユニットと前記光増幅器の他の素子との接続部において反射され、該励起光源ユニットに戻ってくる戻り光の偏光面を第 2 の回転角だけ回転させる偏光面回転手段を備え、前記励起光源に、その励起光源が発生する励起光とは異なる波長の戻り光を入射させることを特徴とする光増幅器。

【請求項 15】 励起光を発生する複数の励起光源と、複数の励起光を合波し、複数の分波する合分波手段を備えた励起光源ユニットから供給される励起光を入力して信号光を増幅する光増幅器において、

前記励起光源ユニットは、

前記合分波手段から出力される励起光の偏光面を第 1 の回転角だけ回転させて送出し、前記励起光源ユニットと前記光増幅器の他の素子との接続部において反射され、該励起光源ユニットに戻ってくる戻り光の偏光面を第 2 の回転角だけ回転させる偏光面回転手段を備え、前記励起光源に、その励起光源が発生する励起光とは異なる波長の戻り光を入射させることを特徴とする光増幅器。

【請求項 16】 励起光を発生する励起光源を備える励起光源ユニットと励起光の供給を受けて信号光の増幅を行う増幅媒体を備える光増幅部がコネクタにより接続されている光増幅器において、

前記光増幅部は、

前記励起光源ユニットからの励起光の出力レベルを検出することによって、該コネクタの接続の有無を検知する手段を有することを特徴とする光増幅器。

【請求項 17】 励起光を発生する励起光源を備える励起光源ユニットと励起光の供給を受けて信号光の増幅を行う増幅媒体を備える光増幅部がコネクタにより、接続されている光増幅器において、

前記励起光源ユニットは、

前記コネクタ部分からの反射光を検出することにより、該コネクタの接続の有無を検知する手段を有することを特徴とする光増幅器。

【請求項 18】 励起光を発生する励起光源を備える励起光源ユニットと励起光の供給を受けて信号光の増幅を行う光増幅部がコネクタにより、接続されている光増幅部において、

該コネクタの接続の有無を検知する手段を有することを特徴とする光増幅器。

【請求項 19】 前記コネクタの接続がはずれていると検

知された場合には、励起光の出力レベルを安全なレベルに減衰するか、励起光の出力を停止することを特徴とする請求項 16～18 のいずれか 1 つに記載の光増幅器。

【請求項 20】別体の励起光源ユニットからの励起光を入力して信号光を増幅する増幅媒体を備え、前記励起光源ユニットとコネクタ接続されて光増幅器を構成可能な光増幅ユニットにおいて、前記増幅媒体に入力される前記励起光のレベルを調整可能な可変光減衰器を備えることを特徴とする光増幅ユニット。

【請求項 21】別体の光増幅ユニットへ出力する励起光を生成する励起光源を備え、前記光増幅ユニットとコネクタ接続されて光増幅器を構成可能な励起光源ユニットにおいて、前記光増幅ユニットへ出力する前記励起光のレベルを調整可能な可変光減衰器を備えることを特徴とする励起光源ユニット。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、光通信装置における光増幅器の構成に関する。

【0002】

【従来の技術】近年、波長分割多重伝送システム（WDM 伝送システム；Wavelength Division Multiplexing）の導入により、例えば、送信端局では信号チャネル数の増加に伴いポストアンプの使用台数が増えるなどし、光送信装置にしめる光増幅器のスペースが増大しており、光増幅器の小型化・集積化が望まれている。

【0003】また、光増幅器では、励起光源にレーザダイオード（LD）を使用し、この励起 LD から発生する熱を放熱するための部品が励起光源に付随し、光増幅器内に配置されていた。これらは、光増幅器を構成する部品の中では非常に大きく、光増幅器の小型化の障害になっていた。そこで、光増幅器から、励起光源を分離し、励起光源とその駆動回路等、励起光源として使用するのに必要な構成要素を 1 つにまとめて励起光源部とすることが考えられた。

【0004】図 23 は、従来の励起光源部の構成を示す図である。図 23 に示されるように、励起光源部の形態として 3 種類が考えられる（ただし、図 23（a）は励起 LD を 4 つ接続した場合の図である）。このうち、図 23（c）はシエナ（CIENA）社の WDM システム（カタログ、CIENA MultiWave Line Amplifier Block Diagram 参照）が採用している。

【0005】図 23（a）～（c）において、1 は励起光源を駆動するための回路、2、3、4、5、8 は励起光源、6 は偏波合成素子（PBS；Polarization Beam Splitter）、7 は波長多重（WDM）カプラ、9 は励起光を分波するための分波器、10 は励起光を合波して分

波するための合分波器である。

【0006】図 23（a）において、4 つある励起光源駆動回路 1 によって、それぞれ対応する励起光源 2、3、4、5 が駆動され（例えば、電流が供給され）、励起光源 2、3、4、5 はそれぞれ光を出力する。励起光源 2、3、4、5 のそれぞれから出力される光は直線偏光した状態で出力される。しかし、励起光源 2、3 の出力波長はほぼ等しく設定可能であるが、偏波が異なってしまう。そこで、このように、波長はほぼ等しいが偏波の異なる光を偏波合成素子 6 により偏波合成して使用する。また、励起光源 4、5 は励起光源 2、3 と同様であるが、出力波長は励起光源 2、3 とは異なってしまうとしている。これは、励起光源 2、3 と同じものを励起光源 4、5 として使ったとしても製造時のばらつきにより波長が必ずしも一致しないことを示している。偏波合成された励起光源 2、3 の励起光と励起光源 4、5 の励起光は、WDM カプラ 7 により合波される。WDM カプラによって合波された光は、その先にある光増幅媒体、例えば、エルビウム・ドープ・ファイバ（Erbium Doped Fiber；EDF）に送られて、光信号を増幅するための励起光として使用される。ここで、WDM カプラとは、波長多重された信号光と特定の波長を有する励起光とを合波するので、特に、このように呼ぶが、実際には、通常の光カプラであればよい。

【0007】この構成は、1 つの励起光源では光増幅媒体に十分な増幅作用を与えることができない場合に採用される構成であり、複数の励起光源を設けることによって、より大出力の励起光を得るようにしている。

【0008】図 23（b）の励起光源部は、1 つの励起光源駆動回路 1、1 つの励起光源 8、及び励起光源 8 からの励起光を分波する分波器 9 とからなっている。この構成は、励起光源が複数の光増幅媒体（不図示）に励起光を供給するのに十分な出力を持っている場合に採用することができる構成で、単一の波長及び単一の偏波を有する 1 つの励起光源からの光を供給するので、不図示の複数の光増幅媒体を同じ特性で作動させることができる。

【0009】図 23（c）の励起光源部は、複数の励起光源駆動回路 1、複数の励起光源 8、及びこれらの励起光源 8 からの励起光を一旦合波し、更に分波する合分波器 10 とからなっている。この構成は、複数の光増幅媒体に 1 つの励起光源部で励起光を供給しようとしたものであるが、1 つの励起光源 8 では全ての光増幅器から十分な増幅作用が得られないため、励起光源 8 を複数設けて、より大出力の励起光を得ようとしたものである。ただし、上記したように、複数の励起光源 8 には、波長のばらつきがある。従って、それぞれの励起光源 8 をそれぞれの光増幅媒体に対応させて使用すると、励起光源 8 の波長の違いにより、それぞれの光増幅媒体の増幅作用が異なってしまう。そこで、全ての励起光源 8 の光を一

且合波して1つの光としてから、これを再び分波して同じ特性の光をそれぞれの光増幅媒体に励起光として供給するようにしたものである。

【0010】なお、以下の説明では、励起光源部、光増幅媒体、及びその他の制御回路等を全て含んだものを光増幅器と呼ぶことにする。光増幅器では、利得一定制御（AGC：Auto Gain Control）や出力レベル一定制御（ALC：Auto Level Control）などの制御で、励起光の増幅媒体への供給量の制御を行う場合があるが、従

来、光増幅器では励起光源の駆動電流を変化させることで、励起光源の出力光量を変化させて、増幅媒体への供給量を変化させていた。

【0011】ところで、波長多重伝送システム（WDM伝送システム）では、波長の異なる信号光を光増幅器により一括して増幅する。WDM伝送システムでは、システム運用開始後、多重数を増やして運用を行う場合（アップグレードする場合）がある。多重数を増やして運用する場合、光増幅器では信号光を増幅するのにより多くの励起電力が必要で、励起光の光増幅媒体へ供給量を増やす必要がある。

【0012】

【発明が解決しようとする課題】図23（b）、（c）に示した励起光源部では、出力される励起光の出力量は分波器9、合分波器10で分波された比率に固定されており、励起光源8の各出力ポートの出力量を任意に変化させることができない。

【0013】光増幅器では、光増幅器の励起光源から発生する熱を放熱するための部品が励起光源に付随し、光増幅器内に配置されていた。これらは、光増幅器を構成する部品の中では非常に大きく、光増幅器の小型化の妨げとなっている。又、発熱体である励起光源としてのLD、および、その駆動回路を光増幅器内部で密集させると過大な温度上昇を招き、特性及び信頼度を低下させる要因となっている。

【0014】WDM伝送システムにおけるアップグレード時に、これまでは、運用当初に光増幅器に搭載した励起光源の許容最大出力までしか、励起光を出力させることができなかった。また、例えば、16チャンネル用のWDM伝送システムにおいて、運用当初は4チャンネルで運用するとした場合、光増幅器には16チャンネルの増幅に必要な励起光源が搭載されており、WDM伝送システム導入時の初期投資が大きくなる。

【0015】光増幅器内に励起光源を内蔵するタイプの光増幅器が設けられた光通信装置においては、光通信装置内で発生する熱が放熱しにくく、ファンを設けるなど、装置を冷却する必要がある、消費電力が余分に必要であった。

【0016】従来、励起光源にLDを用い、出力されたスペクトル幅の狭い励起光が、増幅器を構成する光部品あるいはファイバ接続点において反射して励起LDに戻

り、励起LDの動作を不安定にする結果、光増幅器の動作が不安定であった。これを防止する上で従来は励起LDの出力端にアイソレータを内蔵していたが、これは光部品をより多く必要とする構成である。

【0017】従来、一般に用いられている光増幅器では、増幅媒体の増幅特性に波長依存性が存在し、また、励起LDには製造上、波長のばらつきが存在する。このため、光増幅器は、励起光の波長のばらつきに起因した増幅特性のばらつきが存在している。

【0018】励起光源部と光増幅媒体とをコネクタにより接続する光増幅器においては、コネクタの接続がはずれた場合、警報を発する必要がある。また、外れたコネクタから励起光がもれることは、作業者にとって、非常に危険である。

【0019】本発明の課題は、増幅媒体への励起光の供給量を変化させる機能を有し、小型で、励起光源の発熱による影響が少ない光増幅器を提供することである。

【0020】

【課題を解決するための手段】本発明の光増幅器の第1の側面においては、励起光を入力して信号光を増幅する光増幅器において、入射される励起光の出力レベルの減衰量を変化させることによって、該光増幅器の増幅特性を調整する可変光減衰器を備えることを特徴とする。

【0021】本発明の光増幅器の内、増幅媒体を含む部分を備える光増幅部は、複数個が1つのパッケージとして構成される。本発明の光通信装置は、励起光を発生する少なくとも1つの励起光源と、励起光源から発生した励起光を分波あるいは合波する手段とを備えた励起光源ユニットと、該励起光源ユニットから供給される励起光を入力して信号光を増幅する光増幅部からなる光増幅器を備える光通信装置において、前記励起光源ユニットが光通信装置内で放熱条件のよい位置に配置されていることを特徴とする。

【0022】本発明の光増幅器の第2の側面においては、励起光を発生する励起光源と、複数の励起光を合波する合波手段とを備えた励起光源ユニットから供給される励起光を入力して信号光を増幅する光増幅器において、前記励起光源ユニットは、前記合波手段によって合波された励起光の偏光面を第1の回転角だけ回転させて送出し、前記励起光源ユニットと前記光増幅器の他の素子との接続部において反射され、該励起光源ユニットに戻ってくる戻り光の偏光面を第2の回転角だけ回転させる偏光面回転手段を備え、前記励起光源に、その励起光源が発生する励起光とは異なる波長の戻り光を入射させることを特徴とする。

【0023】本発明の光増幅器の第3の側面においては、励起光を発生する複数の励起光源と、複数の励起光を合波し、複数の分波する合分波手段を備えた励起光源ユニットから供給される励起光を入力して信号光を増幅する光増幅器において、前記励起光源ユニットは、前記

合分波手段から出力される励起光の偏光面を第 1 の回転角だけ回転させて送出し、前記励起光源ユニットと前記光増幅器の他の素子との接続部において反射され、該励起光源ユニットに戻ってくる戻り光の偏光面を第 2 の回転角だけ回転させる偏光面回転手段を備え、前記励起光源に、その励起光源が発生する励起光とは異なる波長の戻り光を入射させることを特徴とする。

【0024】本発明の光増幅器の第 4 の側面においては、励起光を発生する励起光源を備える励起光源ユニットと励起光の供給を受けて信号光の増幅を行う増幅媒体を備える光増幅部がコネクタにより接続されている光増幅器において、前記光増幅部は、前記励起光源ユニットからの励起光の出力レベルを検出することによって、該コネクタの接続の有無を検知する手段を有することを特徴とする。

【0025】本発明の光増幅器の第 4 の側面においては、励起光を発生する励起光源を備える励起光源ユニットと励起光の供給を受けて信号光の増幅を行う増幅媒体を備える光増幅部がコネクタにより、接続されている光増幅器において、前記励起光源ユニットは、前記コネクタ部分からの反射光を検出することにより、該コネクタの接続の有無を検知する手段を有することを特徴とする。

【0026】本発明の光増幅器の第 5 の側面においては、励起光を発生する励起光源を備える励起光源ユニットと励起光の供給を受けて信号光の増幅を行う光増幅部がコネクタにより、接続されている光増幅部において、該コネクタの接続の有無を検知する手段を有することを特徴とする。

【0027】本発明の光増幅ユニットは、別体の励起光源ユニットからの励起光を入力して信号光を増幅する増幅媒体を備え、前記励起光源ユニットとコネクタ接続されて光増幅器を構成可能な光増幅ユニットにおいて、前記増幅媒体に入力される前記励起光のレベルを調整可能な可変光減衰器を備えることを特徴とする。

【0028】本発明の励起光源ユニットは、別体の光増幅ユニットへ出力する励起光を生成する励起光源を備え、前記光増幅ユニットとコネクタ接続されて光増幅器を構成可能な励起光源ユニットにおいて、前記光増幅ユニットへ出力する前記励起光のレベルを調整可能な可変光減衰器を備えることを特徴とする。

【0029】本発明によれば、従来、一定もしくは光源自体を制御することによって出力レベルが調整されてきた励起光は、可変光減衰器によって容易にその出力レベルが調整できるようになり、増幅媒体に適切な強度の励起光を供給することが出来る。

【0030】また、励起光源を光増幅部から切り離したので、光増幅部を複数個まとめてパッケージとすることができ、光増幅器の小型化が図れる。励起光源を光増幅部と別体としたことにより、別個に放熱条件の良い場所

に配置することが出来、また、光増幅部に熱による影響を与えることを抑制することができる。

【0031】励起光源から出力される励起光を励起光源ユニットから出力する前の段に励起光の偏光面を所定角度回転させる手段を設けることにより、戻り光による励起光源の動作不安定を解消することができる。

【0032】また、本発明により、光増幅器を励起光源を含む励起光源ユニットと増幅媒体を含む光増幅部とに分けたことにより、これらを接続するコネクタを必要とする。しかし、コネクタは、人が作業をしている間に外れる可能性があり、外れた場合には、励起光の出力が大きく、また、光ファイバによって集光されているので、人体に照射されると危険である。そこで、本発明の光増幅器では、コネクタが接続されているか否かを検出する手段を設けて、そのような危険な状態が起こらないようにする。

【0033】

【発明の実施の形態】図 1 は本発明の原理説明図である。ここでは、光増幅器の励起光源を除いた構成を示している。以後、光増幅器の励起光源を除いた構成を光増幅部と呼ぶことにする。

【0034】11 は励起光を注入することにより、信号光を増幅する増幅媒体である。12 は信号光と励起光を合波する合波部である。13 は励起光の増幅媒体への供給量を変化させるための可変光減衰器であり、14 は可変光減衰器を駆動する可変光減衰器駆動回路である。

【0035】本実施形態においては、信号光を合波器 12 に入力すると共に、可変光減衰器駆動回路 14 によって駆動される可変光減衰器 13 によって出力が調整された励起光を合波器 12 に入力し、合波して増幅媒体 11 に送る。増幅媒体 11 は、例えば、エルビウム・ドープ・ファイバ等である。この励起光によって増幅媒体 11 が励起され、誘導放出を行い、信号光を増幅するようになる。

【0036】図 1 の構成は光増幅部の構成であり、このように励起光の出力を可変光減衰器 13 によって調整することにより、信号光の光多重度が増えた場合にも、可変減衰器 13 を制御するのみで、十分な増幅作用を得ることができる。

【0037】また、可変光減衰器 13 を使って励起光の出力パワーの制御を行うので、励起光源そのものを制御する必要がなく、励起光源と光増幅部とを別体として構成することができ、熱を発する励起光源を熱の影響を受けやすい光増幅部から分離することで、安定した動作を確保することができる。

【0038】図 2 は、可変光減衰器の構成の一例を示す図である。図 2 (a) は、可変光減衰器の全体の構成の一例を示す図である。可変光減衰器は光ファイバ 25 からの光をコリメートするレンズ 20 と、入射した光を偏光の違いによって光路を分岐する複屈折くさび 21 と、

回転角を可変な可変ファラデー回転子 22 と、偏光の違いにより光の光路を変化させる複屈折くさび 23 と、複屈折くさび 23 からの光を集光するレンズ 24 とからなっている。レンズ 24 からの光は光ファイバ 26 に入力されるが、可変ファラデー回転子 22 の回転角の違いにより、光ファイバに 100% 光を結合する場合と、一部のみを結合する場合とがある。光が一部しか光ファイバに結合しない場合には、光ファイバ 26 に入射する光の強度が減衰し、100% 結合する場合は光の強度は最大になる。

【0039】このように、可変ファラデー回転子の回転角を制御することにより、複屈折くさび 23 での光の光路の曲がり方が異なってくるので、光ファイバ 26 に入射する光の強度を制御することが出来る。

【0040】図 2 (b) は、可変ファラデー回転子の構成例を示す図である。可変ファラデー回転子は、永久磁石 27 と電磁石 28 及び磁気光学結晶 29 とからなり、更に電磁石 28 に電流を供給する可変電流源 30 を有する。磁気光学結晶 29 に入射する光ビーム 31 は、永久磁石 27 と電磁石 28 によって磁気光学結晶 29 内部に生成される磁界によって、偏光面が回転される。磁気光学結晶 29 内部に生成される磁界の向きは、電磁石 28 が発生する磁界の大きさに依存して変化する。光ビーム 31 の偏光面の回転角は、光ビーム 31 の進行方向に平行な磁界の成分によって決定される。従って、磁気光学結晶 29 内部の磁界の大きさが同じで、向きを変えることにより、光ビーム 31 が受ける偏光面の回転角を変化させることが出来る。ここで、永久磁石 27 は、磁気光学結晶 29 内部の磁界を飽和させるために使用される。磁気光学結晶 29 内部の磁界を飽和させることにより、電磁石 28 からどのような磁界が印加されても、内部の磁界は同じ大きさを保つことが出来るので、その向きを変えることにより、光ビーム 31 の進行方向と平行な磁界の成分が大きくなったり小さくなったりする。これにより、光ビーム 31 の偏光面の回転角が制御される。

【0041】図 3 は本発明の光増幅器の第 1 の実施形態を説明する図である。本構成の光増幅器は励起光源ユニット 40 と光増幅部 41 とからなっている。励起光源ユニット 40 は、複数の励起光源 43 から出力された励起光を合波器 42 によって合波し、光増幅部 41 に送出している。このように複数の励起光源 43 を設けることにより、大出力の励起光を光増幅部 41 に送出することが出来る。また、励起光源ユニット 40 を励起光源が後から追加できるように構成しておくことにより、後に更に大出力の励起光源が必要になった場合にも対応することができる。

【0042】光増幅部 41 は、入射する信号光を励起光と合波する WDM カプラ 44 が設けられ、信号光と励起光を光アイソレータ 45 を介して増幅媒体 46 に送出する。増幅媒体 46 は励起光によって励起され、光信号を

増幅して光アイソレータ 47 に送出する。増幅された信号光は波長選択フィルタ 48 で信号光のみが取出され、光分波器 49 に入力される。励起光を用いて増幅媒体 46 で信号光を増幅する場合、増幅するときに発生する光が信号光の進行方向と逆方向にも伝搬するので、光アイソレータ 45、47 を設けて光が逆流しないようにしているものである。

【0043】光分波器 49 では、大部分の信号光は直進するが、一部の光信号が分岐され、フォトダイオード 50 によって、そのトータルの出力が検出される。検出された信号光の出力は監視回路 51 に入力され、増幅された信号光が所定の出力になっているか否かが判断される。もし、所定の出力になっていない場合には、励起光源ユニット 40 からの励起光の出力を変化させるために、可変光減衰器駆動回路 52 に信号が送信される。可変光減衰器駆動回路 52 は、この信号に基づいて可変光減衰器 53 を制御し、増幅媒体 46 に送出される励起光の出力を調整する。このように、フィードバックをかけることにより、増幅された信号光の出力を一定に保つことができる。監視回路 51 の構成としては差動増幅器を使ったものが可能である。

【0044】また、本構成においては、励起光源 43 を励起光源ユニットとして光増幅部 41 から分離しているので、励起光源 43 の発する熱等の影響を光増幅部 41 に与えることがない。更に、励起光源ユニット 40 からの励起光の出力レベルの調整を、従来とは異なって、可変光減衰器 53 によって変化させるようにしているので、信号光の光多重度が変化した場合にも可変減衰器 53 を制御することによって、必要な出力レベルの励起光を容易に得ることができる。

【0045】図 4 は本発明の光増幅器の第 2 の実施形態の構成を説明する図である。なお、図 4 においては、図 3 と同じ構成要素には同じ参照番号を付し、詳細な説明は省略する。

【0046】図 4 の構成は、励起光源 62 が複数の増幅媒体 70、46 に十分な励起光を供給することが出来る場合の構成である。励起光源ユニット 60 は、1 つの励起光源 62 と、この励起光源 62 から出力される励起光を複数の増幅媒体 70、46 に送出するために励起光を分岐する分波器 63 とを備えている。光増幅部 61 は、複数の光増幅部（第 1 の光増幅部 74 と第 2 の光増幅部 75）からなっている。第 2 の光増幅部 75 の構成は、図 3 に説明したものと同様であるので、対応する参照番号を付すのみで説明を省略する。

【0047】第 1 の光増幅部 74 は双方向励起と呼ばれる構成を取っており、増幅媒体 70 の前後から励起光を入力する構成となっている。励起光源ユニット 60 からの励起光は 2 つ第 1 の光増幅部 74 に導かれており、双方とも可変光減衰器駆動回路 65、66 により駆動される可変光減衰器 64、67 によって出力レベルが調整さ

れWDMカプラ68、71により信号光に合波されている。これら励起光は増幅媒体70の前後から増幅媒体70に入力され、信号光を増幅する。光アイソレータ69、72は、前述したように、信号光の進行方向とは逆方向に伝搬する光を取り除くために設けられている。そして、光アイソレータ72を通過した光は、波長選択光フィルタによって信号光のみが抽出されて伝送路（不図示）に送出される。

【0048】第1の光増幅部74では、第2の光増幅部75のように、増幅された信号光の出力を一定に保つためのフィードバックが行われていないが、もちろん、第1の光増幅部74においてもフィードバックのための構成を設けることは可能である。この場合、やはり、フォトダイオードと監視回路が設けられ、波長選択光フィルタ73から出てきた信号光を分岐して出力レベルを検出し、監視回路を介して可変光減衰器駆動回路65、66に可変光減衰器64、67を制御する信号を出力させるようにすればよい。

【0049】また、第1の光増幅部74では、双方向励起の方法が取られているが、これは、例えば、増幅媒体70が非常に長いエルビウム・ドープ・ファイバからなっている場合に有効である。すなわち、このような場合には、WDMカプラ68から供給される励起光は増幅媒体70の全体には行き届かず、増幅媒体70に入力されてから増幅媒体70の最後の方まで伝播する前に消費されてしまう。そこで、WDMカプラ71から励起光を増幅媒体70に反対側から入力することによって、励起光が増幅媒体70全体に行き渡るようにすることができる。この方法によれば、増幅媒体70が非常に長いエルビウム・ドープ・ファイバで構成されている場合にも、増幅媒体70の全体を信号光の増幅に使用することが出来るので、増幅媒体70の増幅作用を無駄なく使用することができ、効率的である。

【0050】図5は本発明の光増幅器の第3の実施形態の構成を説明する図である。図5においては、図4と同じように光増幅部61が第1の光増幅部74と第2の光増幅部75とからなっており、図4と同じ構成要素には同じ参照番号を付し、詳しい説明を省略する。

【0051】光増幅部61の第1の光増幅部74は、双方向励起の方法を採用しており、増幅媒体70の前方と後方から励起光を入射する様に構成している。この方法の利点は前述した通りである。第2の光増幅部75は、図3の構成と同様であって、励起光が1つ使用されている。また、第2の光増幅部75と同様に第1の光増幅部74においても可変光減衰器64、67の制御をフィードバック機構を通じて行うようにすることも可能である。

【0052】図5の構成においては、前述の構成と同様にして、励起光源を含む励起光源ユニット80を光増幅部61と別に設けていると共に、光増幅部61では、励

起光源ユニット80から出力された励起光を可変光減衰器64、67、53によって、出力調整して増幅媒体70、46に入力している。このような構成によれば、励起光源81の発する熱が光増幅部61に悪影響を与えて、動作を不安定にすることも無く、また、必要な励起光の出力を可変光減衰器64、67、53を制御することによってのみ得ることができる。また、予め設けられている励起光源81では得られないような高出力の励起光が必要になった場合には、励起光源ユニット80の合分波器82に新たに励起光源を追加できるように構成しておけば、励起光源ユニット80に励起光源を追加する作業をするだけで、必要な励起光出力を得ることができる。

【0053】なお、図5の励起光源ユニット80は、複数の励起光源81を設けることによって、1つの励起光源だけでは得られない大出力の励起光を得られるようにしている。すなわち、各励起光源81から出力される光は合分波器82で一度合波されてから再び分波され、複数の増幅媒体70、46に送信される。前述したように、複数の励起光源81からの光を合波し、再び分波して複数の増幅媒体に送るようにすることにより、すべての増幅媒体を同じような特性で作動させることができるという効果がある。すなわち、1つの増幅媒体に1つの励起光源を対応させた場合に生じる励起光源間の製造上のばらつきによる作動特性のばらつきをなくすることができる。

【0054】図6は励起光源ユニットの第1の構成の説明図である。図6は、励起光源90を複数設け、1つの励起光源では得られないような大出力の励起光を1つの増幅媒体に送出するための構成である。なお、前述の構成では、可変光減衰器93と可変光減衰器駆動回路92は、光増幅部に設ける構成となっていたが、ここでは、励起光源ユニットに設ける構成としている。この場合、増幅媒体によって増幅される信号光の出力レベルを監視し、励起光の出力レベルにフィードバックをかけるためには光増幅部（不図示）から可変光減衰器駆動回路92に制御用の信号を入力する必要がある。ところで、前述したように、本発明の各構成においては、励起光源を含む励起光源ユニットを光増幅部と別体のユニットとして構成するので、可変光減衰器駆動回路92には電気的な結線を行って、フィードバック制御用の信号を入力するようにする必要がある。以下、特にフィードバック制御のための構成については触れないが、当業者によれば容易に実現が可能であろう。

【0055】図7は励起光源ユニットの第2の構成の説明図である。図7においても、励起光源ユニットに可変光減衰器97と可変光減衰器駆動回路96とが設けられている。図7の構成は、励起光源94が複数の増幅媒体（不図示）に励起光を供給するのに十分な出力を有している場合にとられる構成であり、分波器95により励起



光源 94 からの光を分岐している。可変光減衰器 97 は、それぞれ、分岐された励起光の出力を調節するように設けられている。これは、それぞれの励起光が供給される増幅媒体の作用を個別に調整するための構成である。図 7 では、これらの可変光減衰器 97 は、1 つの可変光減衰器駆動回路 96 によって、制御されるように構成されているが、1 つの可変光減衰器に 1 つの可変減衰器駆動回路を設けるような構成としてもよい。また、前述のように、励起光の出力制御にフィードバックを用いる場合には、増幅された信号光の出力を検出し、可変減衰器の減衰量を調整するための監視回路を設け、可変光減衰器駆動回路 96 と結線して、制御信号を可変光減衰器駆動回路 96 に入力することができるように構成する。

【0056】図 8 は励起光源ユニットの第 3 の構成の説明図である。図 8 においては、複数の励起光源 98 からの光を合分波器 99 で一旦合波してから再び分波する構成をとっている。これは、前述の通り、励起光源 98 を複数設けることによって必要な出力の励起光を得ると共に、各増幅媒体に送られる光の波長がばらつかないように、一旦全ての光を合波して 1 つの光としてから分岐している。このようにすると、1 つの光を分岐するので、各増幅媒体に送られる励起光のばらつきをなくすことが出来、増幅媒体の作用のばらつきをなくすことができる。また、図 8 においても、可変光減衰器 101 と可変光減衰器駆動回路 100 が励起光源ユニットに設けられている。可変光減衰器 101 は、分岐された励起光毎に出力を調節するように設けられており、可変光減衰器駆動回路 100 によって制御される。図 7 の説明でも述べたように、各可変光減衰器に対応して可変光減衰器駆動回路を設けてもよく、励起光出力のフィードバック制御を行う場合には、不図示の監視回路から可変光減衰器駆動回路 100 に制御信号が入力するように構成する。

【0057】なお、図 7、8 では、分波器 95 あるいは合分波器 99 で分岐された励起光をそれぞれの可変光減衰器 97、101 でパワー調整しているが、これは、実質的に、分波器 95 あるいは合分波器 99 の分岐比を変えることと同等の作用を有する。

【0058】図 9 は励起光源ユニットの第 4 の構成の説明図である。

【0059】図 9 の構成は、複数の励起光源 110 からの光を合波器 111 で合波し、1 つの増幅媒体に励起光として送出する構成であるが、合波器 111 に接続できる励起光源を増減することができるように構成するものである。合波器 111 の構成の例としては、合波器 111 に、光伝送システムの立上げ時に必要な励起光源の数よりも多く、励起光源を接続することが出来る接続部と合波のための光素子を組み込んでおき、初期投資の段階では、最低限必要な数の励起光源を接続しておくようにする。そして、光伝送システムの光多重度を上げる必要

に迫られた時（アップグレード時）に、予め設けられていた接続部に新たに励起光源や別の励起光源ユニットからの出力を合波器 111 に入力するようにする。すなわち、光伝送システムの光多重度があがると信号光のパワーが上がるが、励起光のパワーが同じであると、増幅器の利得が下がるので、励起光の出力を大きくする必要があるが生じる。そこで、上記のように、励起光源を更に付け加えることができるような構成にしておく。このようにすると、初期投資の段階で、励起光源を必要以上に始めから設けておく必要がなく、また、アップグレードにより生じる、励起光の出力アップの要求にも容易に対応することができる。

【0060】図 10 は励起光源ユニットの第 5 の構成の説明図である。図 10 は、複数の励起光源 110 からの光を一旦合波し、再び分波して各増幅媒体に励起光として送出する構成である。この場合にも、合分波器 113 に新たに励起光源を接続することができるような接続部と合波のための光素子をあらかじめ設けておくことにより、光伝送システムのアップグレードによりより大出力の励起光が必要になった場合には、アップグレード用の励起光源あるいは、別の励起光源ユニットからの光を合分波器 113 に入力することが出来るようにしておく。

【0061】図 9 あるいは図 10 で示したように、合波器 111 あるいは合分波器 113 に追加用の励起光源を接続するための構成をあらかじめ設けておくことにより、光伝送システムの立上げ時には、最小限必要な数の励起光源を設けておくだけで良く、アップグレードが行われる場合には、励起光源を追加して、必要な出力の励起光を得るようにすればよいので、光伝送システムの初期投資を少なく抑えることが出来ると共に、アップグレードも容易に行うことができる。

【0062】図 11 は励起光源ユニットの第 6 の構成の説明図である。図 11 においては、図 9 の構成に可変光減衰器 115 と可変光減衰器駆動回路 114 を含めている。図 9 の場合には、可変光減衰器 115 と可変光減衰器駆動回路 114 は、不図示の光増幅部の方に設けられるが、図 11 のように励起光源ユニットに設けることも可能である。この構成は、図 6 の構成に対応し、合波器 111 が励起光源を追加出来る構成となっている点が異なっている。図 6 の説明において述べたように、合波器 111 から出力される励起光の出力をフィードバック制御する場合には、可変光減衰器駆動回路 114 に制御信号を入力するための結線を行う必要がある。

【0063】図 12 は励起光源ユニットの第 7 の構成の説明図である。図 12 の構成は、図 10 の構成に対応する構成であり、図 11 のように合分波器 113 から出力される各励起光に対して可変光減衰器 116 とこれらを駆動する可変光減衰器駆動回路 117 が設けられている。このような構成においては、励起光源ユニットが励

起光を供給する各増幅媒体への励起光の出力を個別に制御することが出来、実質的に合分波器 113 の光の分岐比を変えることと同じ作用となる。

【0064】図 12 の構成においては、複数の増幅媒体に励起光を供給しているので、光伝送システムのアップグレード時に一部の伝送路に対してだけ光多重度が増やされ、且つ、励起光源ユニットが励起光を供給する全ての増幅媒体への励起光の出力レベルを上げる必要がないような場合に適切に対応することができる。すなわち、光伝送システムのアップグレードに伴い、励起光源 112 あるいは別の励起光源ユニットからの励起光を合分波器 113 に入力すると共に、それぞれの可変光減衰器 116 の光減衰量を個別に設定する。つまり、励起光の出力レベルを上げる必要のない増幅媒体へは、アップグレード前の出力レベルの励起光を供給すると共に、励起光の出力レベルを上げる必要のある増幅媒体へは、励起光の出力レベルを高めて供給するようにする。このように、図 12 の構成によれば、光伝送システムにおけるアップグレードに対し、きめ細かな対応を行うことができる。

【0065】なお、前述したように、図 12 の構成においては、各可変光減衰器 116 に対応して、複数の可変光減衰器駆動回路を設けてもよい。更に、それぞれの励起光の出力レベルをフィードバック制御する場合には、不図示の監視回路から可変光減衰器駆動回路に制御信号が入力されるように構成する。

【0066】図 13 は光増幅器の概略構成を説明する図である。図 13 の構成は、励起光源ユニット 120 が光増幅部から独立している光増幅器において、光増幅部を一つのパッケージ 121 内に多数搭載するものである。このように、光増幅部 122-1 ~ 122-n を一つのパッケージとすることによって、複数の光伝送路に設けられる光増幅器を一体化することができるので、光通信装置内で余分に大きなスペースを取ってしまうことがない。また、励起光源ユニット 120 が光増幅部を複数搭載するパッケージ 121 とは別体として設けているので、励起光源ユニット 120 の光通信装置内での配置の仕方の自由度が大きくなる。そこで、発熱量が多く、光増幅部の増幅媒体の作用に悪影響を与える可能性のある励起光源ユニット 120 を光通信装置内において、装置上部やファンの近く等の冷却効率の良い位置に配置するようにする。

【0067】なお、前述したように特性が均一な光増幅器を提供するために、励起光源ユニットに同種の光増幅部を接続した構成とする。これらの接続された光増幅部の増幅媒体には励起光源ユニットから同一波長あるいは同一の波長成分を持つ励起光が入力されるため、増幅媒体の励起光波長依存性の影響を受けず、光増幅器は励起波長依存性に対して均一な特性を持つようにすることができる。

【0068】図 14 ~ 図 18 において、図 3 と図 4 で説明した光増幅部の様々な構成例を示す。図 14 は、光増幅部の第 1 の構成例を説明する図である。

【0069】図 14 において、131 は増幅媒体（例えば EDF ; Erbium Doped Fiber）、132 は励起光と信号光とを合波する WDM カプラ、133 は逆流光の発振防止のためのアイソレータ、134 は信号光波長域を取出す波長選択光フィルタ、135 は増幅媒体への励起光の供給量を変化させる可変光減衰器、136 は可変光減衰器に駆動電流を送る可変光減衰器駆動回路、137 は励起光の出力レベル制御のために出力された信号光の一部を分岐する光分波器、138 は 137 で分岐した信号光を電気信号に変換するフォトダイオード、139 は変換された電気信号を受け、必要な演算を行って可変光減衰器駆動回路 136 に制御信号を送る制御回路である。

【0070】図 14 に示す光増幅部では出力光一定制御（ALC ; Automatic Level Control）をおこなっている光増幅部であり、図 3 で説明した構成と同じである。光分波器 137 で分岐した信号光をフォトダイオード 138 で電気信号に変換した後、制御回路 139 で所定の設定値と比較し、その差分が零になるように可変光減衰器 135 の駆動電流を可変光減衰器駆動回路 136 を介して制御してやることで、ALC 制御を行う。

【0071】このように、光増幅器を熱の影響を受けやすい増幅媒体を含む光増幅部と励起光源を含む励起光源ユニットに分割することで、増幅媒体の作用を安定させることが出来ると共に、励起光源ユニットにおいては前述したようなアップグレード時等における利便性を得ることが出来る。また、従来は、励起光の出力レベルの変化を、励起光源に供給する電流を変化させることによって行っていたものを、励起光源の出力を一定にしておき、可変光減衰器によって励起光の増幅媒体への供給パワーレベルを変えるようにしたことにより、このような光増幅部と励起光源ユニットというような別ユニット化が可能になったものである。

【0072】図 15 は、光増幅部の第 2 の構成例を説明する図である。なお、図 15 において、図 14 と同じ構成要素には同じ参照番号を付して詳細な説明は省略する。

【0073】図 15 において、140 は励起光の出力レベル制御のために入力信号光の一部を分岐する光分波器、141 は光分波器 140 で分岐した光信号を電気信号に変換するフォトダイオード、142 はフォトダイオード 138、141 で変換された電気信号を受け、必要な演算を行って可変光減衰器駆動回路 136 に制御信号を送る制御回路である。

【0074】図 15 に示す光増幅部では信号光利得が一定にする利得一定制御（AGC ; Automatic Gain Control）を行っている構成の例である。分波器 137 で分岐した出力信号光をフォトダイオード 138 で電気信号に

変換し、光分波器 140 で分岐した入力信号光をフォトダイオード 141 で電気信号に変換した後、制御回路 142 で出力信号光と入力信号光の比、すなわち利得を得る。この利得を所定の設定値と比較し、その差分が零に成るように可変光減衰器 135 の駆動電流を可変光減衰器駆動回路 136 を介して制御してやることで、AGC 制御を行う。

【0075】WDMカプラ 132、光アイソレータ 133、波長選択フィルタ 134、及び増幅媒体 131 の作用は前述した通りである。図 16 は、光増幅部の第 3 の構成例を説明する図である。

【0076】なお、図 16 において、図 14、15 と同じ構成要素には同じ参照番号を付して詳細な説明を省略する。143 は制御のために励起光の一部を分岐する光分波器、144 は光分波器 143 で分岐した励起光を電気信号に変換するフォトダイオード、145 は変換された電気信号を受け、必要な演算を行って可変光減衰器駆動回路 136 に制御信号を送る制御回路である。

【0077】図 16 に示す光増幅部では増幅媒体に供給される励起光量を一定に制御する励起光一定制御 (APC: Automatic Power Control) を行っている構成例である。光分波器 143 で分岐した励起光をフォトダイオード 144 で電気信号に変換した後、制御回路 145 で所定の設定値と比較し、その差分が零になるように可変光減衰器 135 の駆動電流を可変光減衰器駆動回路 136 を介して制御してやることで、APC 制御を行う。

【0078】出力一定の励起光は WDMカプラ 132 で入力信号光と合波され、増幅媒体 131 で信号光を増幅する。増幅された信号光は波長選択光フィルタ 134 で信号光だけ抽出され、光伝送路 (不図示) へ送出されていく。光アイソレータ 133 は、前述の通り、逆流光の発振が起らないように設けられている。

【0079】この構成においては、励起光のパワーが一定なので、光伝送システムのアップグレード等により、より大きな励起光パワーが必要になった場合には、制御回路 145 の所定の設定値を適切な値に変更する必要がある。ただし、このような励起光のパワーを増加する必要がある場合には、前述の ALC 制御や AGC 制御と同等の機能を有する。

【0080】図 17 は、光増幅部の第 4 の構成例を説明する図である。図 17 に示す光増幅部では双方向励起光増幅器を構成する場合の構成例である。可変光減衰器 135 の駆動電流を可変光減衰器駆動回路 136 により変化させ、励起光の増幅媒体への前方からの供給量、後方からの供給量をそれぞれ独立に変化させることができる。図 17 の場合、励起光源は前方からの励起光供給用と後方からの励起光供給用のそれぞれに対し、別のものを用意することを前提としているが、別のものを使用する場合には、発振波長が高い精度で互いに等しい励起光源を使用する必要がある。もし、励起光源の発振波長が

前方からの供給用と後方からの供給用とで異なる場合、増幅媒体 131 では、信号光の増幅のされ方が一様でなくなり、信号光の波形の劣化を生じる可能性がある。

【0081】従って、前方から励起光を供給する励起光源と後方から励起光を供給する励起光源とは同じであることが望ましいが、そのための構成が以下の図 18 に示される。

【0082】なお、双方向励起の場合の各構成要素の作用は、図 4 で説明した通りであるので、ここでは説明を省略する。図 18 は、光増幅部の第 5 の構成例を説明する図である。

【0083】図 18 において、図 14 から図 17 までと同じ構成要素には同じ参照番号を付し、説明を省略する。同図で、146 は励起光を分岐する光分波器である。図 18 に示す光増幅部では図 17 と同じく、双方向励起光増幅器の構成を適用した例である。図 17 との違いは、励起光源からの励起光が光分波器 146 で分岐された後、可変光減衰器 135 に入力される点である。また、可変光減衰器 135 を図 18 のように配置しないで、光分波器 146 の前に配置し、光分波器 146 で分岐される前に励起光量を変化させる構成も考えられる。この場合、増幅媒体 131 への前方からの供給量と後方からの供給量の比は光分波器 146 の分岐比により定められた比となる。

【0084】図 19 は光増幅器の励起光源ユニット部において、励起光源を安定動作させるための構成を示す図である。一般に、光部品の接続部には、反射率の大小はあるものの、少なからず伝播してくる光を反射して戻り光を生じる。この戻り光が励起光源に入射すると励起光源の動作が不安定になり、発振光の波長が揺らぐ等が起る。これは、励起光源としてレーザを用いている場合には、レーザの構成として共振器構造が用いられているので、戻り光が入射すると共振器内の共振状態を攪乱するからである。

【0085】そこで、2つの発振波長の異なる励起光源を設ける。例えば、励起光源 157 の波長を  $\lambda_1$ 、励起光源 158 の波長を  $\lambda_2$  ( $\lambda_1 \neq \lambda_2$ ) とし、励起光源 157、158 の出力光は直線偏光で互いに直交するように構成する。偏波合成素子 (PBS; Polarization Beam Splitter) 159 で、励起光源 157、158 の出力光を偏波合成する。160 はファラデー回転子で、回転角を 22.5 度に設定する。偏波合成後の励起光はファラデー回転子 160 で偏光面が 22.5 度回転した後、励起光源ユニットから出力される。この光が光増幅器内の部品で反射して戻ってくる戻り光は再び、ファラデー回転子 160 で偏光面が 22.5 度回転させられ、もとの光 (PBS の出力光) とは偏光面が 45 度回転している。このため、励起光源に戻る光のスペクトルは  $\lambda_1$  と  $\lambda_2$  の両方の成分を持つ。

【0086】このように、励起光源が発振する光の波長

と異なる成分を有する戻り光が入った場合には、励起光源としてレーザの共振器内で共振状態を乱す作用を抑えることができる。従って、戻り光による励起光源の動作不安定を取り除くことができる。

【0087】すなわち、励起光源ユニットに反射して入射する励起光の波長が均一とならないように、出力波長が異なる励起光源(LD)の出力光を励起光に用いる。これにより、励起光が光増幅器の光部品などに反射して励起LDへ戻る光はそのLDが出力した波長以外のスペクトル成分が含まれ、光増幅器の動作不安定は解消される。

【0088】図20は本発明の光増幅器の第4の実施形態の構成を示す図である。図20の構成においては、光増幅部170に励起光をモニタできるように、励起光を分岐する分波器174と、分岐された励起光を受光するフォトダイオード175と、受光した励起光の出力レベルをモニタする監視回路176を励起光入力モニタ177として設けている。その他の光増幅部170の構成は図3と同様なので、同じ参照番号を付して説明を省略する。本実施形態においては、この励起光入力モニタ177により励起光の出力レベルをモニタし、励起光の出力レベルが異常に低下した場合に不図示のブザーやランプ等によるアラームを発生させる。

【0089】また、励起光の光増幅部170への入力量が低下した場合に監視回路から励起光源ユニット171に電気信号を送り、励起光源ユニット171からの出力をシャットダウンさせる。あるいは、励起光源ユニット171内に出力量調節用の可変光減衰器がある場合は(図20の場合は、設けられていない)、可変光減衰器の減衰量を大きくし、励起光の出力量を零もしくは安全レベルまで低下させる。

【0090】このような制御は、監視回路176から励起光源ユニット171に設けられている制御回路173に制御信号を送り、制御回路173から、各励起光源43を駆動する励起光源駆動回路172に励起光の出力を止めさせるか、可変光減衰器が設けられている場合には、可変光減衰器の減衰量を大きくすることによって行う。

【0091】このような制御は、光増幅部170と励起光源ユニット171とを接続するコネクタ178が外れている場合を検出するためである。励起光源ユニット171から送出される励起光は非常にパワーが高く、しかも光ファイバで集光されていることから、人が作業をしているときに、このコネクタ178が外れ、励起光が人の皮膚や目に照射されると非常に危険である。そこで、光増幅部170の励起光入力モニタ177で、励起光の出力レベルを検出することによってコネクタ178が接続されていることを監視し、励起光の出力レベルが所定値以下となった場合には、コネクタ178が外れているとして、アラームを鳴らしたり、励起光をシャットダウ

ンするなどして、作業している人を危険にさらさないようにする。

【0092】図21は光増幅部と励起光源ユニットとの接続を監視するための別の実施形態の構成を説明する図である。図21の構成では、複数の励起光源183の光を一旦、合分波器184で合波し、更に、分波して、複数の励起光を送出する構成を示している。この励起光源ユニット181もコネクタ180によって光増幅部に接続される。この場合にも、コネクタ180が外れていると、作業をする人に危険をもたらすので、コネクタ180がちゃんと接続されているか否かのモニタを行う。

【0093】すなわち、反射モニタ182を設け、励起光源ユニット181の光増幅部と接続するコネクタ180からの反射光を分波器185で分岐し、フォトダイオード190で検出して、監視回路に検出結果を送出する。コネクタ180が外れていると、コネクタ180が接続されている場合よりも反射光のパワーが大きくなるので、監視回路186は、反射光のパワーが所定値よりも大きくなった場合に、アラームを出す、もしくは、励起光源ユニット181内に出力レベル調節用の可変光減衰器がある場合は、可変光減衰器の減衰量を大きくし、励起光の出力量を零もしくは安全光レベルまで低下させる。あるいは、監視回路186から励起光源の出力を止める信号を制御回路187に送信し、励起光源駆動回路188を介して、励起光源183の動作を止める処理を行う。

【0094】図22は、励起光源ユニット内での励起光源の接続の仕方について説明する図である。図22

(a)のように励起光源駆動回路内で励起光源(LD; レーザダイオード)を直列に接続することにより、回路内のトランジスタが減り、独立に励起LDを駆動するよりも低消費電力を実現することができる。

【0095】例えば、図22(b)のように、トランジスタ201に励起LDが1つ取り付けられている場合を考えると、励起LDの両端にかかる電圧をVとし、流れる電流をIとすると、トランジスタ201の消費電力は、 $P = (V_{cc} - V)I$ となる。一方、図22(a)のように直列に励起LDを接続した場合には、トランジスタ200の消費電力は、 $P' = (V'_{cc} - 4V)I$ となる。ここで、 $V_{cc} = (1 + \alpha)V$ 、 $V'_{cc} = (4 + \alpha')V$ とし、 $\alpha$ と $\alpha'$ はほぼ等しいとする。

【0096】そこで、図22(b)の構成で4つの励起LDを駆動する場合と、図22(a)の場合のトランジスタの消費電力を比較すると、 $4P - P' = (4\alpha - \alpha')VI$ となり、 $4P$ の方が $P'$ よりも大きいことが示される。このように、1つの励起LDを1つのトランジスタで駆動し、それを複数設けるよりも、1つのトランジスタで直列に接続された励起LDを駆動するほうが消費電力が少なくすみ、トランジスタの数も減らすことができるという効果がある。

【0097】ただし励起LDの接続方法は直列には限られず、例えば、励起光源駆動回路内で励起LDを並列に接続すれば、励起LDが故障して励起LDの交換をする場合、直列構成よりも励起LDの交換が容易であり、冗長性を有する。

【0098】以上の実施形態は光ファイバ増幅器についてであるが、これらのほかに、増幅媒体に半導体を用いた半導体光増幅器を用いることが可能である。

【0099】

【発明の効果】光増幅器を励起光源が供給する励起光の出力パワー調整を可変光減衰器を用いて行うようにしたことにより、励起光源の出力パワーを変化させることが容易にできる。

【0100】光増幅器を励起光源を含む励起光源ユニットと熱の影響を受けやすい光増幅部とに分けて、互いに接続するようにしたことにより、光増幅部の増幅媒体に励起光源が生じる熱の影響を受けなくすることが出来、安定した増幅作用を得ることができる。

【0101】光伝送システムに信号光の多重度を増やすようなアップグレードを行うような場合にも、可変光減衰器の減衰量を調節することにより対応することができる。また、励起光源ユニットに新たに励起光源を取り付けられるように構成しておくことにより、光伝送システムの立上げ時には、不要な励起光源を設けておかなくてもよくなり、初期投資を削減することが出来る。

【0102】励起光源ユニットから複数の増幅媒体に励起光を供給する場合に、各励起光毎に励起光のパワーを調整することが出来る。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の原理説明図である。

【図2】可変光減衰器の構成の一例を示す図である。

【図3】本発明の光増幅器の第1の実施形態を説明する図である。

【図4】本発明の光増幅器の第2の実施形態の構成を説明する図である。

【図5】本発明の光増幅器の第3の実施形態の構成を説明する図である。

【図6】励起光源ユニットの第1の構成の説明図である。

【図7】励起光源ユニットの第2の構成の説明図である。

【図8】励起光源ユニットの第3の構成の説明図である。

【図9】励起光源ユニットの第4の構成の説明図である。

【図10】励起光源ユニットの第5の構成の説明図である。

【図11】励起光源ユニットの第6の構成の説明図である。

【図12】励起光源ユニットの第7の構成の説明図であ

る。

【図13】光増幅器の概略構成を説明する図である。

【図14】光増幅部の第1の構成例を説明する図である。

【図15】光増幅部の第2の構成例を説明する図である。

【図16】光増幅部の第3の構成例を説明する図である。

【図17】光増幅部の第4の構成例を説明する図である。

【図18】光増幅部の第5の構成例を説明する図である。

【図19】光増幅器の励起光源ユニット部において、励起光源を安定動作させるための構成を示す図である。

【図20】本発明の光増幅器の第4の実施形態の構成を示す図である。

【図21】光増幅部と励起光源ユニットとの接続を監視するための別の実施形態の構成を説明する図である。

【図22】励起光源ユニット内での励起光源の接続の仕方について説明する図である。

【図23】従来の励起光源部の構成を示す図である。

【符号の説明】

11、46、131 増幅媒体

12、42、91、111 合液器

13 可変光減衰器

14 可変光減衰器駆動回路

40、60、80、120、171、181 励起光源ユニット

41、61、122-1~122-n、170 光増幅部

43、62、81、90、94、98、110、157、158、183 励起光源

44、68、71、132 WDMカブラ

45、47、69、72、133 光アイソレータ

48、73、134 波長選択フィルタ

49、63、95、137、140、143、146、174、185 光分波器（分波器）

50、138、141、144、175、190

フォトダイオード

51、176、186 監視回路

52、65、66、92、96、100、114、116、136 可変光減衰器駆動回路

53、64、67、93、97、101、115、117、135 可変光減衰器

74 第1の光増幅部

75 第2の光増幅部

82、99、113、184 合分波器

112 アップグレード用励起光源

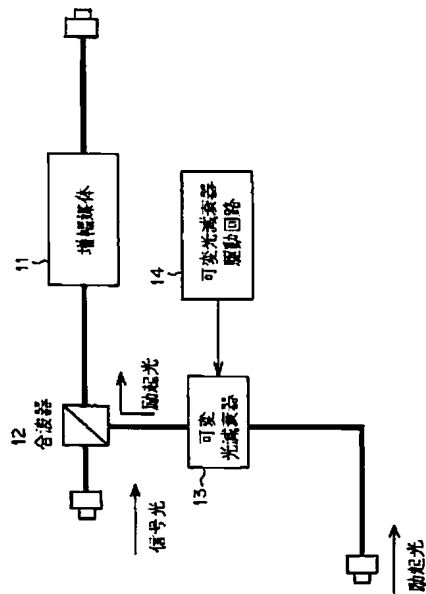
139、142、145、173、187 制御回路

- 159 偏波合成素子 (PBS)  
 160 ファラデー回転子  
 172、188 励起光源駆動回路  
 177 励起光入力モニタ

- 178、180 コネクタ  
 182 反射モニタ  
 200、201 トランジスタ

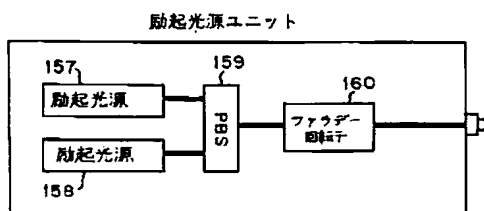
【図1】

本発明の原理説明図



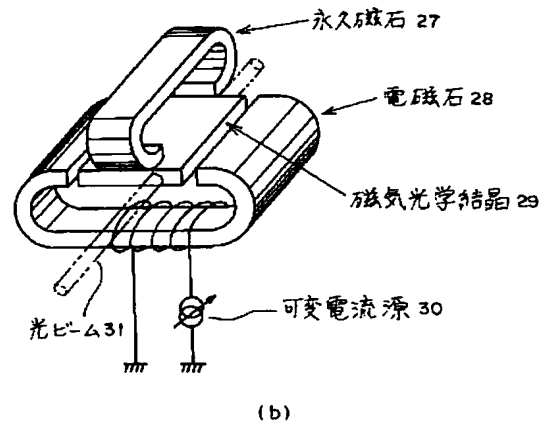
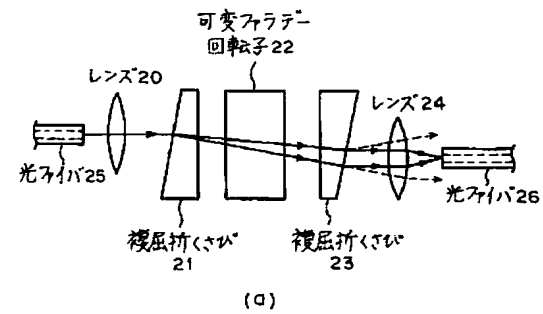
【図19】

光増幅器の励起光源ユニット部において  
 励起光源を安定動作させるための構成  
 を示す図



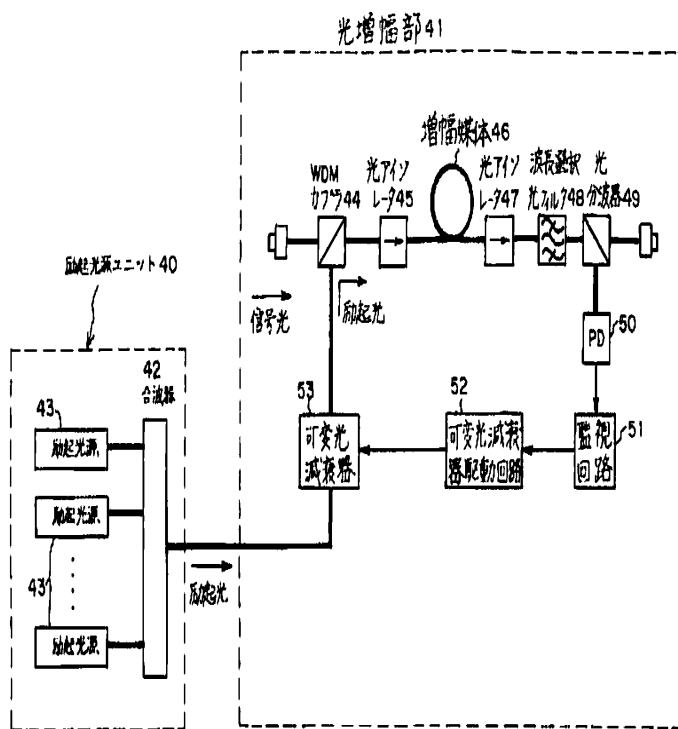
【図2】

可変光減衰器の構成の一例を示す図



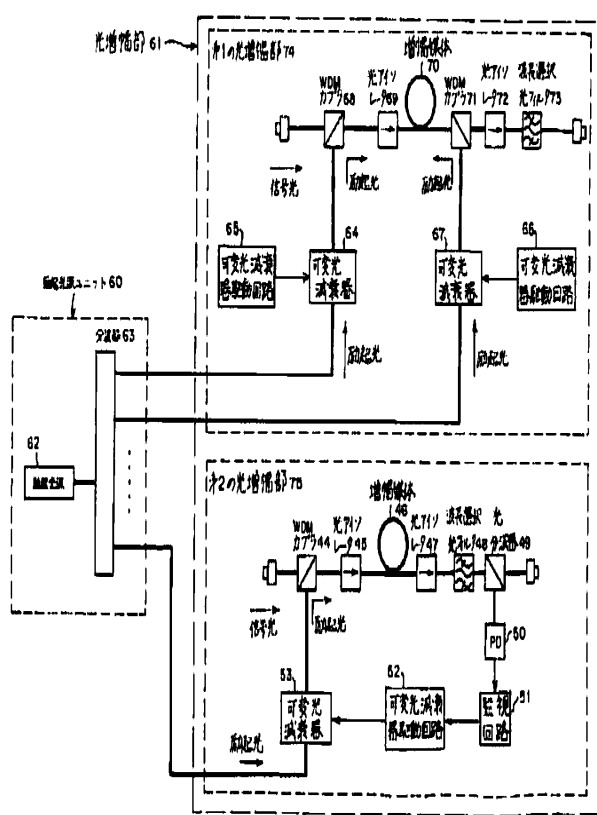
【図 3】

本発明の光増幅器の第1の実施形態を説明する図



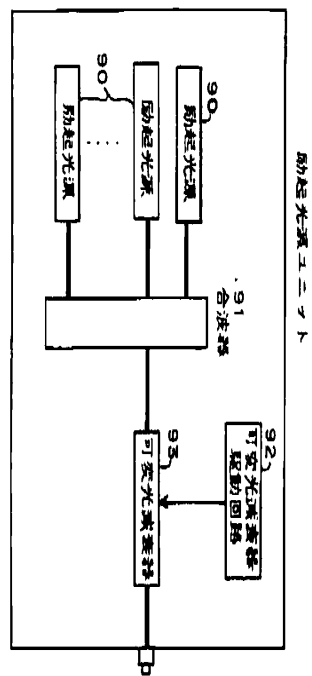
【図 4】

本発明の光増幅器の第2の実施形態を説明する図



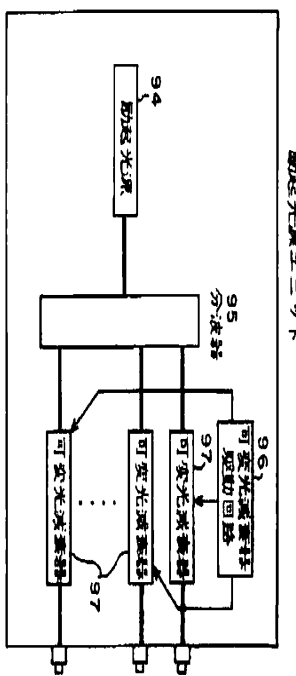
【図 6】

励起光源ユニットの第1の構成の説明図



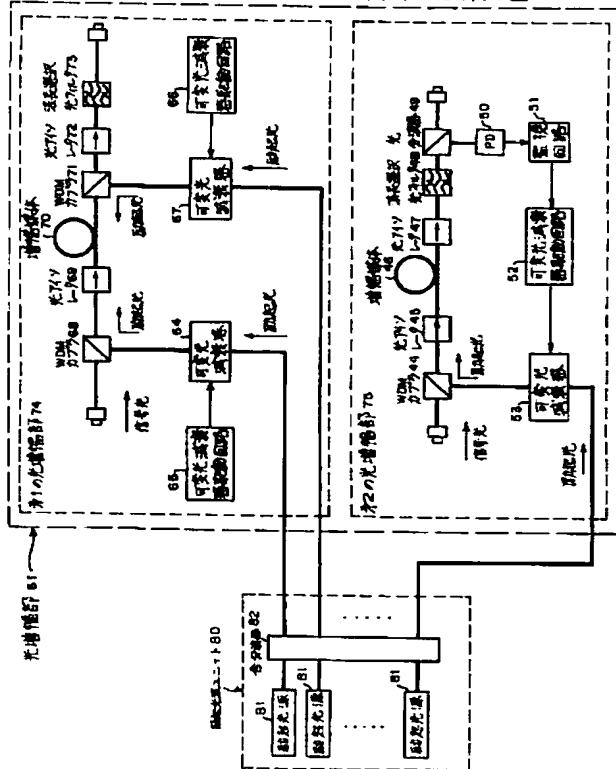
【図 7】

励起光源ユニットの第2の構成の説明図



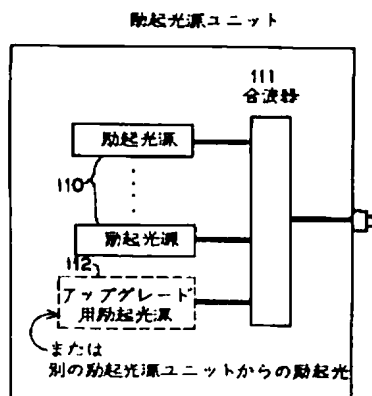
【図 5】

本発明の光増倍器の第3の実施形態の構成を説明する図



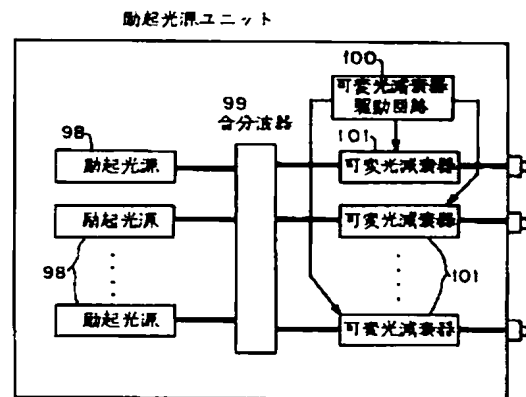
【図 9】

励起光源ユニットの第4の構成の説明図



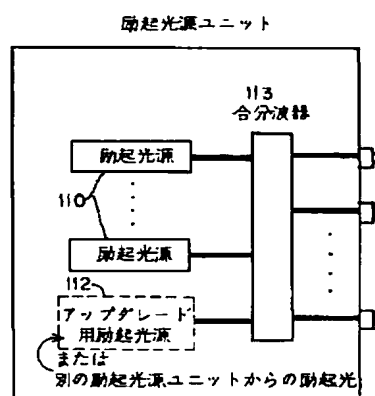
【図 8】

励起光源ユニットの第3の構成の説明図



【図 10】

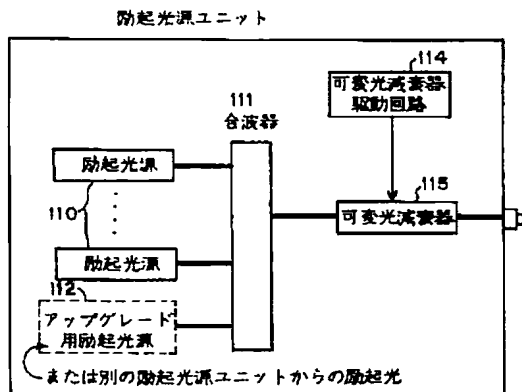
励起光源ユニットの第5の構成の説明図





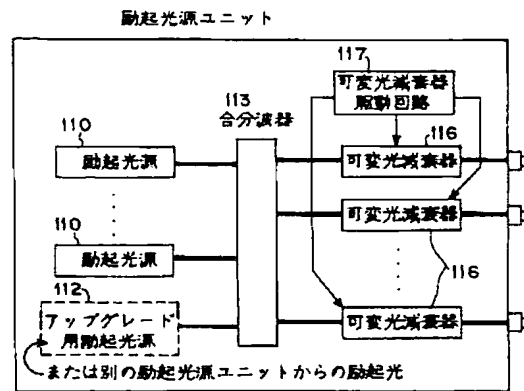
【図 11】

励起光源ユニットの第6の構成の説明図



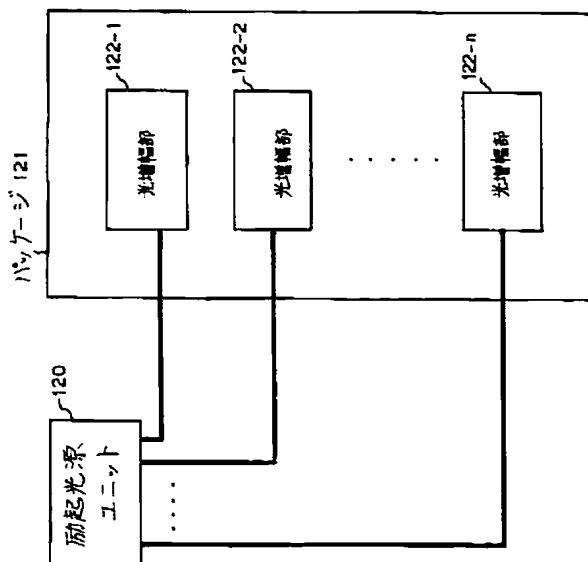
【図 12】

励起光源ユニットの第7の構成の説明図



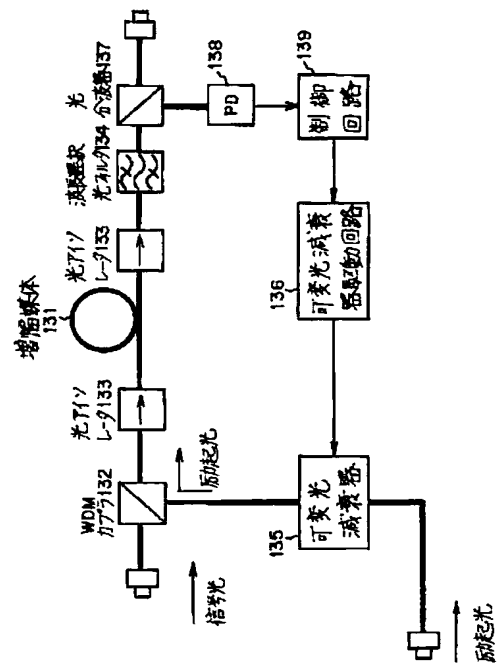
【図 13】

光増幅器の一概略構成を説明する図



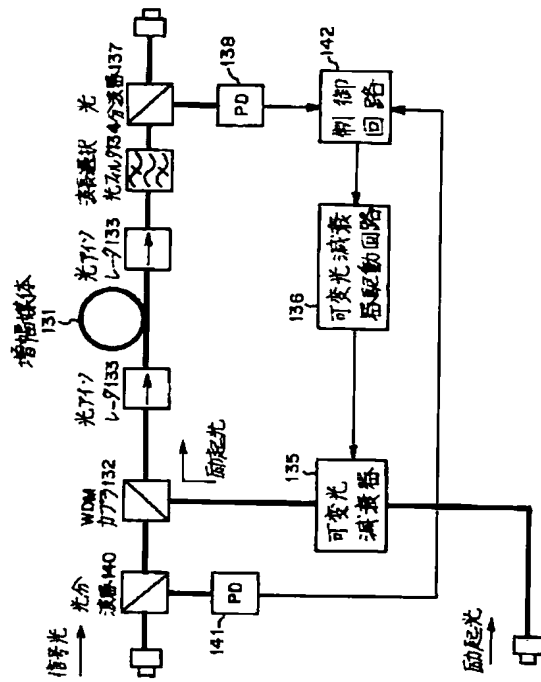
【図 14】

光増幅部の第1の構成例を説明する図



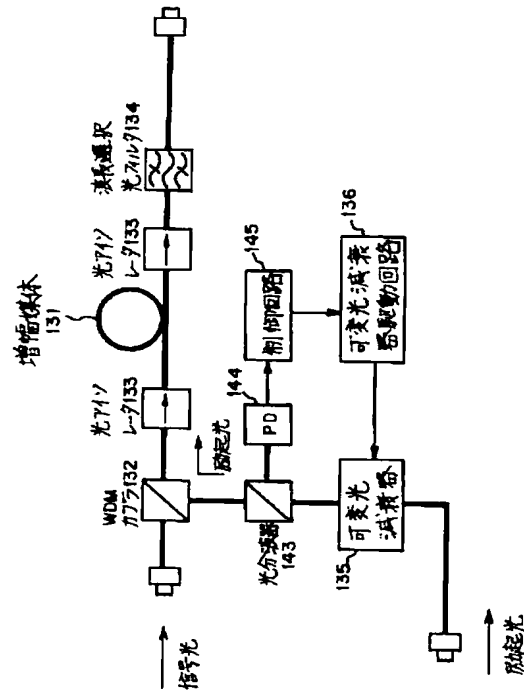
【図 15】

光増幅部の第2の構成例を説明する図



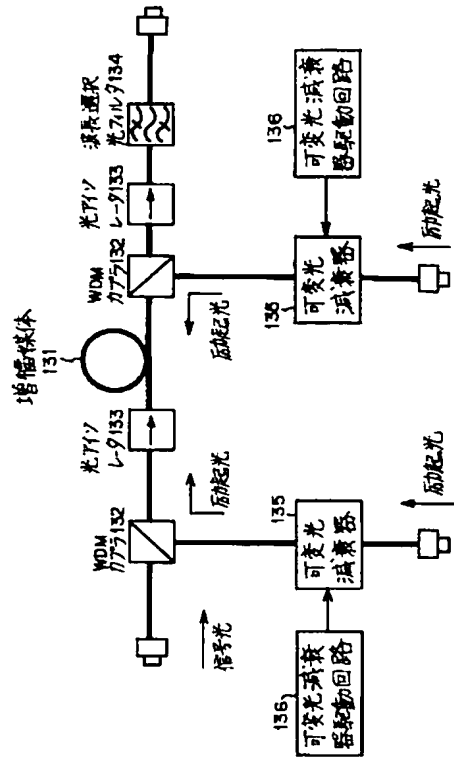
【図 16】

光増幅部の第3の構成例を説明する図



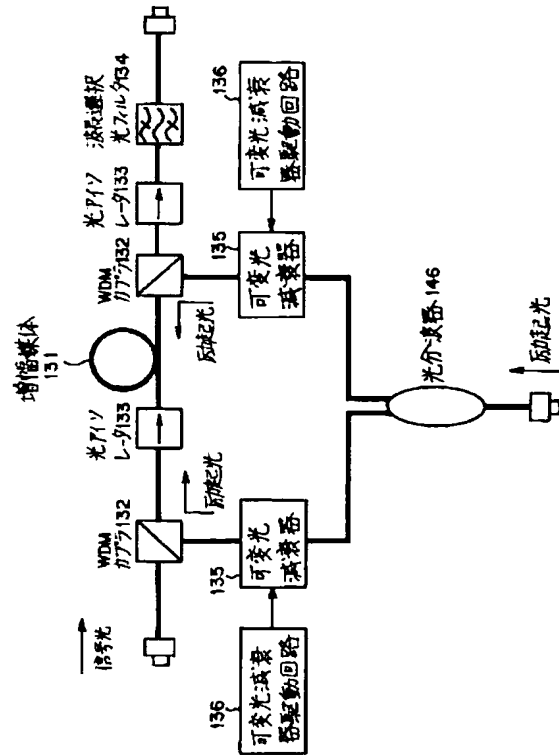
【図17】

光増幅部の第4の構成例を説明する図



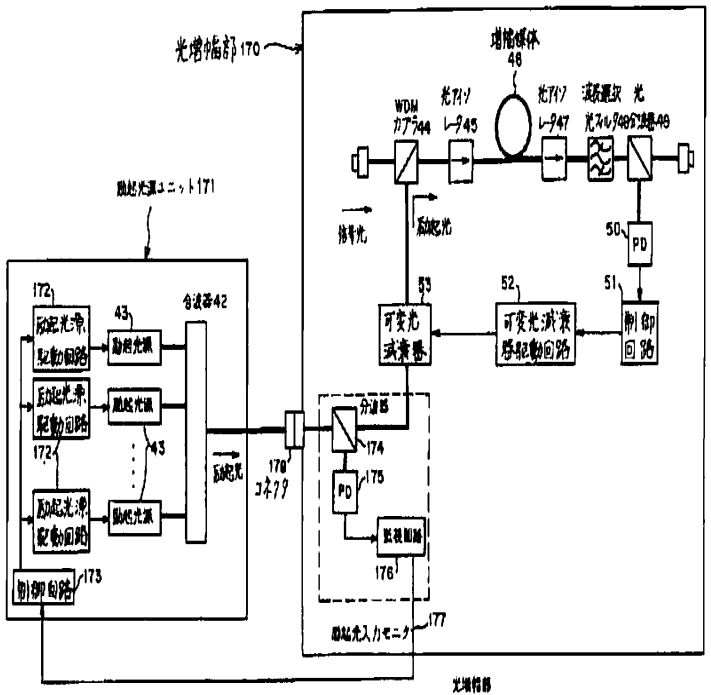
【図18】

光増幅部の第5の構成例を説明する図



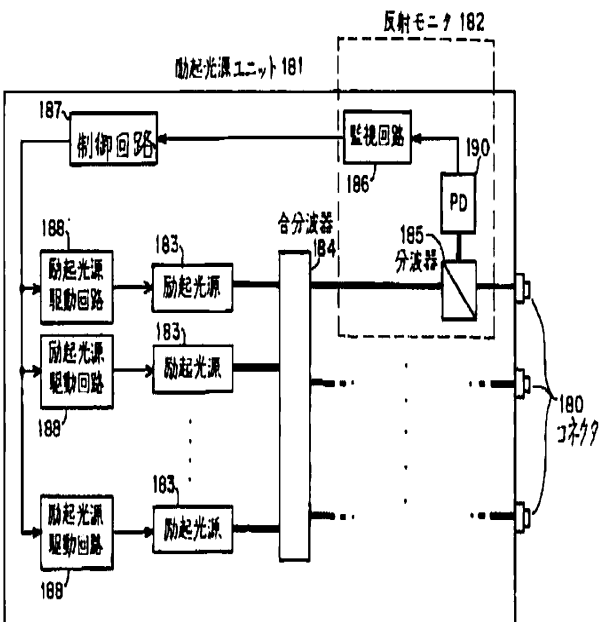
【図 20】

本発明の光増幅器の第4の実施形態の構成を示す図



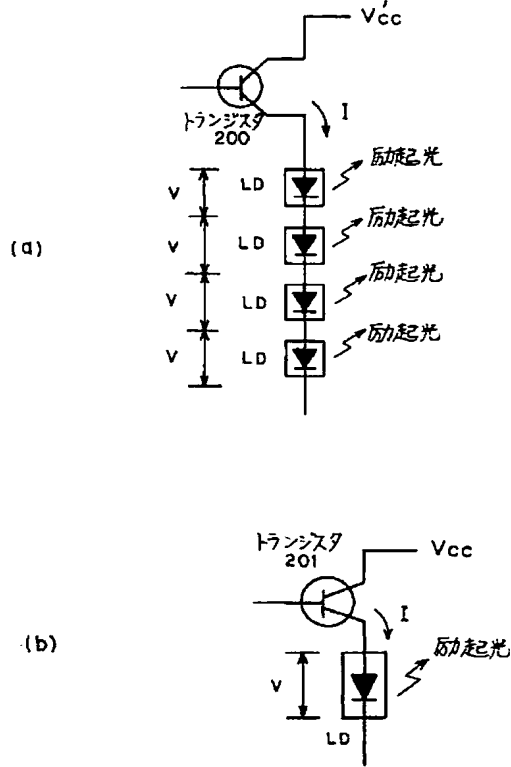
【図 21】

光増幅器と反射モニタと励起光源ユニットとの接続を示す図  
監視するための別の実施形態の構成を示す図



【図 2 2】

励起光源ユニット内の励起光源の接続の  
仕方に付いて説明する図



【図 2 3】

従来の励起光源部の構成を示す図

